

선박의 소음과 진동

한국선박안전기술원 여수지부

최한규/주임검사원

I. 서론

소음은 일상생활에 사람에게 여러 가지 영향을 준다. 시끄러운 장소에서 일하는 사람이 난청이 되거나, 휴식, 수면 등의 방해, 정서불안, 작업이나 정신집중 방해, 소음이 더욱더 격심하게 되면 두통, 위장장애 등의 신체적 장애요인이 되며, 소음으로 인한 생활환경 및 근로조건 등에 관하여 많은 연구를 하게 되었다. 그러나 대부분의 연구는 육상환경 소음·진동에 관한 것이고 선박의 소음·진동과 그 대책에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

선박으로부터 방사하는 해중소음은 해양중에 주요한 소음의 하나이며, 선박의 주기관, 보조기관 등 기계류에서 발생하는 소음·진동은 해중에 소음으로 방사된다. 또 해중에 회전하는 propeller는 cavitation을 일으킨다.

이제까지의 선박의 방사소음의 연구는 주로 해중에 사용되고 있는 음향기기에 영향을 끼치는 항주소음의 저감을 목적으로 행하였다. 해중생물들의 그 서식 환경에의 방사소음의 영향에 관한 연구는 선박 후진음을 이용한 집어, 선박 해중방사소음이 어류에 미치는 영향, 연안어장에 대한 선박 해중방사소음의 도래방향의 탐지 등 다수가 있다. 또한 선박으로부터 방사하는 수중소음은 어군의 행동과 밀접한 관계가 있음

이 점차 밝혀지고 있다. 그러나 선박내 소음·진동과 수중소음에 대한 등급별, 업종별 및 선질별의 체계적인 연구가 없으며 앞으로 이러한 연구에 앞서 선박의 소음·진동과 수중소음에 대한 특성을 분석·검토 해본다.

II. 소음특성

1. 소음의 종류

소음을 시간적 변동특성에 따라 분류하면 정상 소음(steady noise)과 비정상 소음(non-steady noise)이 대부분이고 몇 개의 특성을 가지고 발생하고 있다. 그리고 소음의 발생원인을 나누는 방법은 여러 가지가 있지만 진동과 관련시켜 분류하면 기계진동과 같이 생기는 소음, 기계진동 없이 생기는 소음 기타 소음 등으로 나눌 수 있다. 기계진동과 같이 생기는 소음은 왕복 운동의 관성력, 자려진동, 충격 그리고 접촉 등의 기계적 원인에 의한 것과 전기적 원인에 의한 것이 있다. 기계진동 없이 생기는 소음은 연소, 기류 및 와류(渦流) 등이 있다. 기타 소음 등은 사람의 회화 및 자연음 등이 있다.

소음을 발생시키고 있는 기계를 구조적으로 나누어 보면 동력부, 동력 전달부, 작업부, 고정

부로 이루어져 있다. 이들 부분의 소음원으로서 동력부는 내연기관, 모터 등의 작동음이 있으며 또한 연소와 동시에 생기는 연소음이나 배기음 그리고 전자적 소음이 있다. 동력 전달부는 전 동축이나 베어링 톱니바퀴 그리고 체인 벨트 등이 소음원이 된다. 작업부는 기계적인 작업외에 Blower 콤프레셔와 같이 공기를 작업 물질로 하는 것과 펌프와 같이 물이나 기름 등의 액체를 작업물질로 하는 것을 생각할 수 있다. 고정부에 대해서는 기초가 되는 틀과 같이 외부로부터 진동을 받아 소음원이 되는 것이 있다.

2. 선박내 진동·소음 분포

실험 데이터에 의하면 총톤수 243톤, 마력 1000ps인 선박의 주기관 cylinder head, 주기관 좌측, 측계상부에서 순항시의 진동준위는 80, 67, 65dB 이었다.

총톤수 3527.04톤, 마력 4500ps, 회전수 220인 선박의 rpm이 150일때 기관실의 소음은 93.5dB로 최대소음값, 총톤수 380.27톤, 마력 850ps, 회전수 340인 선박의 rpm이 210일때 97dB로 최대소음값, 총톤수 1126.59톤, 마력 1300ps×2, 회전수 750인 선박의 rpm이

550일 때 102dB로 최대소음값, 총톤수 243.96톤, 마력 1000ps 회전수 700인 선박의 rpm이 500에서 104dB로 최대소음값의 범위였으며, 이들 선박의 최대소음값은 주기관이 저속, 중속, 고속에 따라 다르며, 주기관실의 용적에 따라서도 다르게 나타났다. 각 주기관실의 최대음압을 종합해보면 93.5~105dB의 범위였다. 또 식당의 소음압은 68~75dB, 싸롱은 67~72dB, 선원실은 67~75dB, 갑판의 소음은 67~72dB의 범위였다.

총톤수 11톤, 마력 125ps, 회전수 1200인 선박의 주기관실의 음압은 112dB, 조타실 98dB, 침실 92dB, 총톤수10톤, 마력 100ps, 회전수 1200인 선박의 주기관실의 음압은 114dB, 조타실 113.3dB, 침실 99dB이다. 소형선이 대형선보다 소음압이 높게 나타나는 이유는 상대적으로 작은선체 크기에 의해 진동에너지 손실이 적기 때문이라고 여겨진다.

3. 수중방사소음의 분류

수중음원체(선박)로부터 발생하는 방사소음은 음원체의 기계적, 구조적 특성에 따라 각각의 고유한 음향특성을 나타내며, 크게 기계적소

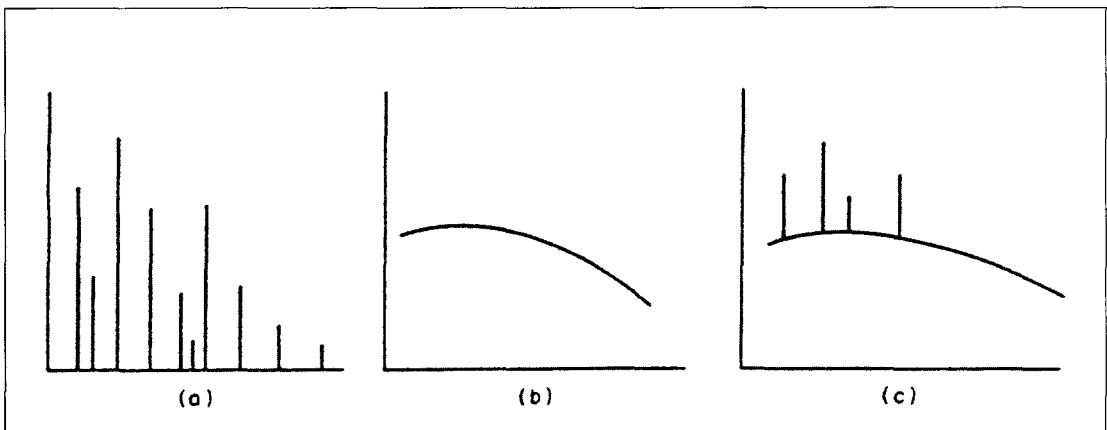


Fig.1 Diagrams of (a) line-component spectrum, (b) continuous spectrum, and (c) composite spectrum obtained by superposing (a) and (b).

음 (machinery noise), 프로펠러 소음 (propeller noise) 및 유체 역학적 소음 (hydrodynamic noise)으로 구분되며, 일반적으로 광대역 소음(broad band noise)과 협대역소음(tonal noise)성분의 복합형태로 나타난다. 광대역 소음은 연속적인 스펙트럼 현상을 보이며, tonal 성분을 갖는 소음은 불연속 스펙트럼 현상을 나타낸다. 그림1에 일반적인 방사 소음 스펙트럼 특성을 나타내고 있다.

협대역 주파수 특성인 tonal 소음은 주로 저주파 영역에 있으므로 전달조건이 양호할 뿐만 아니라 엔진, 프로펠러 및 보조기계류들이 주로 불연속 주파수 신호(lines)들을 발생하므로 소음원 해석에 중요한 요소가 된다.

따라서 그림2와 같은 구성을 갖는 음원체(선박)로부터 방사되는 주요 소음특성 요소를 살펴보면 아래와 같다.

1) CSR(Crank Shaft Rate)
단위 시간당 엔진 크랭크 축의 회전횟수로 정의된다.

$$CSR = \text{RPM} / 60 \text{ (Hz)}$$

2) CR(Cylinder Rate) 혹은 CFR(Cylinder Firing Rate)

단위 시간당 실린더 폭발횟수로 정의된다.

$$CR = (CSR \times 2) / (\text{사이클수})$$

예로, 2-사이클 엔진이면 $CR = CSR$ 이고, 4-사이클 엔진이면 $CR = CSR/2$ 이다.

3) EFR(Engine Firing Rate)

주기관이 보유한 실린더의 단위 시간당 총 폭발횟수로 정의되며, 대개 신호세기가 가장 강하게 나타난다.

$$EFR = CFR \times (\text{실린더수})$$

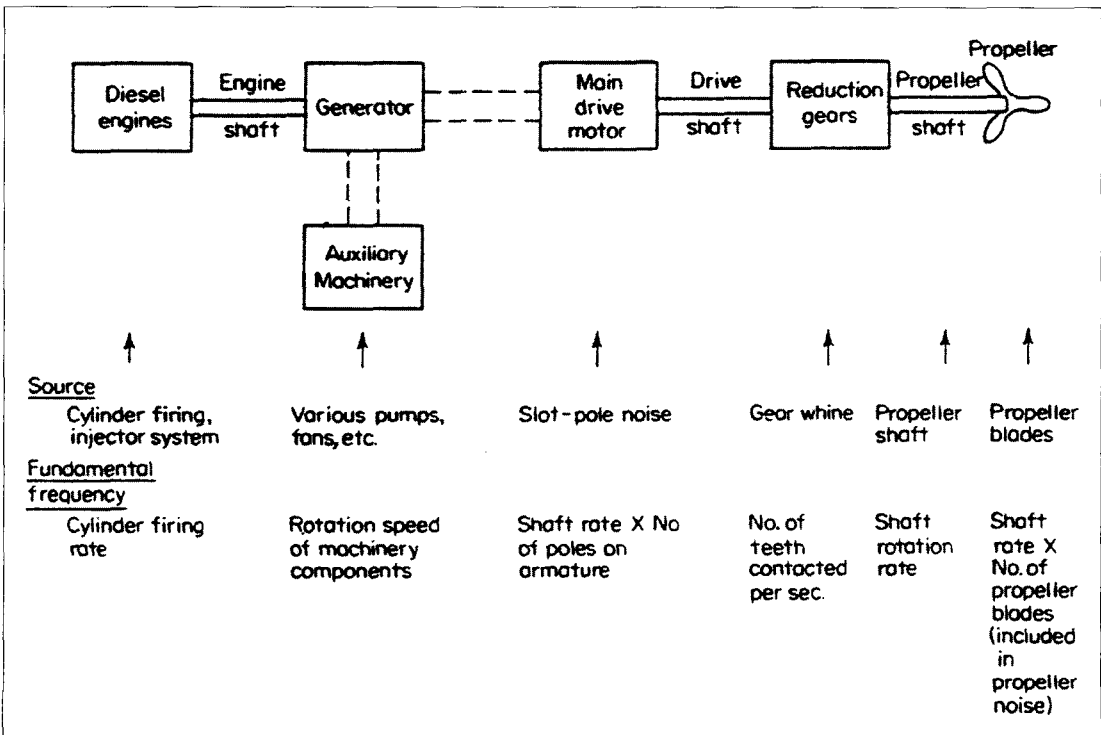


Fig.2 Machinery components and noise sources on a diesel-electric vessel.

4) PSR(Propeller Shaft Rate)
 주기관으로부터 감쇄기어를 거쳐 프로펠러 축회전에 의하여 발생된다.
 $PSR = CSR / (\text{감쇄기어비})$

5) BR(Blade Rate)
 프로펠러 축에 연결된 날개의 회전에 의하여 발생하는 소음으로서 날개수에 해당되는 PSR의 하모닉 성분과 함께 발생된다.

$BR = PSR \times (\text{프로펠러 날개수})$ 로 정의된다.

이 외에도 음원체의 저주파 영역에서 주요한 신호 성분으로 해석되어야 할 성분은 음원체의 주기관과 독립적인 보조기계류에서 불연속으로 발생하는 unrelated components이며, 간혹 하모닉 성분으로 나타나기도 한다.

4-사이클 디젤엔진의 음향스펙트럼 특성을 살펴보면 엔진회전수 1800, 실린더수 6개로서 주요 기본 주파수는

$$CSR = 1800 / 60 = 30\text{Hz}$$

$$CFR = CSR / 2 = 15\text{Hz}$$

$EFR = CFR \times (\text{실린더수}) = 90\text{Hz}$ 로 이론적 스펙트럼 특성이 나타난다.

4. 해수중소음의 주파수대역

해수중소음은 발생 주파수 대역에 따라 대략 6가지로 세분할 수 있다. 극초저주파수 1Hz이하, 초저주파수는 1~20Hz, 저주파수는 20~200Hz, 중주파수는 200Hz~2kHz, 고주파수는 2~20kHz, 초고주파수는 20kHz이상 소음대역 극초저주파수 소음은 해저지진 및 해수면의 운동으로 인한 압력변화 등으로 생기고, 초저주파수 소음은 함정 등의 추진기 회전으로 인한 방사소음이 한 원인으로 추정되며, 저주파수 소음은 먼 거리 선박의 운항에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 그리고 중주파수 소음은 해상교통과 해수면 교란에 의해 발생되고 고주파 소음은 해수면 교란에 의해 생기며, 초고주파수 소음은

해수분자의 열적 교란에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다.

5. 선박의 수중소음 주파수 및 음압

실험 데이터에 의하면 총톤수 227.5톤, 마력 3600ps의 선미트롤어선이 전속으로 항주할때의 수중소음은 주파수 300Hz에서 최대음압 118dB, 후진시 주파수 200Hz에서 최대음압 121dB로 나타났으며, 항주중의 수중소음은 속도가 증가함에 따라 음압준위가 높았다. 후진시의 소음은 전진시의 소음 스펙트럼도 다르고 음압준위도 높았다. 거리에 따른 음압의 감쇄는 주파수가 높아짐에 따라 커지고 주파수 제곱에 비례하여 감쇄하였다.

총톤수 380톤, 마력 850ps의 수중소음의 음압은 5, 50, 100, 150, 200m 층에서 각각 146, 125, 112, 110, 104dB로서 수심이 증가함에 따라 음압은 점차 낮아지는 경향을 보였다.

III. 소음제어

일반적으로 소음을 제어하는 방법은 수동소음제어와 능동소음제어로 나뉜다. 지금까지의 소음제어는 흡음재나 차음재를 사용하여 발생한 소음을 흡수, 차단하려는 수동적인 방법이 주로 연구되어 왔으나 이러한 방법은 사용재료의 특성상 무게와 부피의 증가로 설치에 넓은 공간과 많은 비용이 필요하다. 특히 500Hz 이하의 저주파에서는 그 성능이 떨어지는 단점이 있다. 이에 비해 2차 음원을 사용하여 소음과 동일한 진폭과 반대의 위상을 갖는 인공음을 발생시켜 중첩시키므로써 소음의 음압레벨을 줄이는 능동소음 제어는 저주파수를 제어하기에 적합하며 소음의 진행 경로를 차단하는 수동적 방법과는 달리 무게와 부피를 줄일 수 있는 장점이 있다. 이러한 개념은 1930

년부터 있었으나 마이크로프로세서의 고성능화로 신호처리 기술이 급격히 발달된 최근에 와서야 실시간 능동소음제어 시스템을 구현할 수 있게 되어 활발한 연구가 진행되고 있다. 현재 능동소음제어 기술은 자동차나 비행기 등과 같은 중량을 줄여야 하는 대상과 도관과 같은 단방향 소음의 제어 및 구조물 내부의 정음화, 가전제품의 소음제어, 열린공간과 막힌 공간의 정음화 등에 적용되어 많은 성과를 거두고 있다.

앞으로 선박내 소음제어기술 개발을 위해 선박내 소음 데이터를 수집 스펙트럼 분석을 통해 주파수 성분의 특성을 분석하고, 기존의 소음제어 방법들을 검토하고 앞으로 대체 기술 개발 필요성을 제시 하고자 한다.

1. 능동소음제어의 원리

능동소음제어 기법이라 함은 그림3과 같이 소음에 대해 위상이 180° 반전된 인공음을 적용필터를 통해 발생시켜 두 신호의 상호 결합에 의한 중첩의 원리를 이용하여 소음을 감쇄시키고자 하는 이론이다. 인공음은 센서를 사용하여 검출한 소음원으로부터의 신호를 참조신호로 삼아 이를 적용필터를 거쳐 발생시키게 되며 이때의 적용필터의 계수는 오차마이크로폰에 입력된 오차신호에 의해 갱신된다.

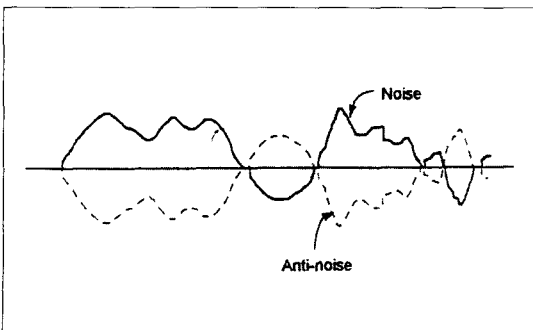


Fig.3 The principle of an active noise control.

2. 능동 소음제어 이론

능동 소음제어는 피드포워드(feed forward) 능동소음제어와 피드백(feed back) 능동 소음제어로 구분될 수가 있다.

피드백(feed back) 능동 소음제어의 블록선도를 그림4(a)에 나타내고 모델링에 대한 등가적인 블록선도를 그림4(b)에 나타낸다. 그림4(b)에서 $x(n)$ 은 소음원을 나타내고, $d(n)$ 은 소음원에서 마이크로폰 사이의 경로 $p(z)$ 를 통해 얻어지는 신호이며, $y(n)$ 은 적응식 필터의 출력을 나타내며, $y'(n)$ 은 스피커와 마이크로폰 사이의 경로, $C(z)$ 를 통해 얻어지는 신호이고, $e(n)$ 은 $d(n)$ 과 $y'(n)$ 의 합으로 마이크로폰을 거쳐 얻어지는 신호이다. 능동 소음제어는 $e(n)$ 의 신호를 적응식 필터를 통해 감소시켜 나가는 것이 그 원리이다.

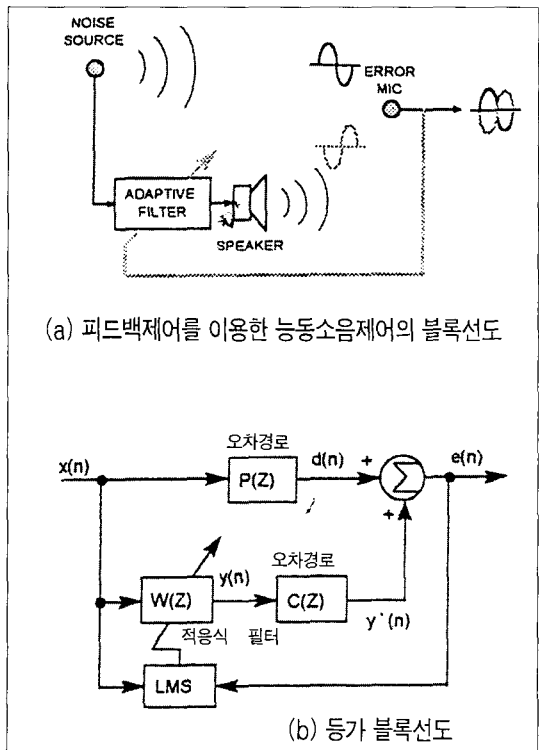


Fig.4 The block diagram of an active noise control.

IV. 결 론

생활의 질적 수준이 향상되어 감에 따라 문화생활을 영위하고자 하는 욕구가 증대되고 있으며 따라서 쾌적하고 안락한 생활을 위해 주거 환경을 보호 유지하여야 할 필요성이 급격히 요구되고 있다.

실험 데이터에 의하면 총톤수 10~11톤, 마력 100~120ps, 회전수 1200인 FRP어선의 기관실 소음압이 112~114dB, 조타실이 98~113.3dB, 침실이 92~99dB, 총톤수 243.96~3527.04톤, 마력 850~4500ps, 회전수 220~750인 선박의 주기관실 최대소음압은 93.5~105dB, 식당 68~75dB, 선원실 67~75dB이었다. 또한 진동준위를 보면 총톤수 243톤, 마력 1000ps인 선박의 주기관 cylinder head, 주기관 좌측, 축계부 상부에서 순항시의 진동준위는 80, 67, 65의 범위였다.

권장되는 실내소음 레벨을 보면 침실, 병원, 주택, 호텔, 모텔 등은(수면, 휴식을 위해) 34~47dB이며, 거실 및 주거를 위한 유사공간 등은(대화, TV 및 라디오를 듣기위해) 38~48dB이다.

선박의 수중방사소음에 대한 실험값을 보면 총톤수 227.5톤, 마력 3600ps인 선박의 전속항주시 주파수 300Hz에서 최대음압이 118dB, 후진시 주파수 200Hz에서 최대음압이 121dB이었고, 총톤수 380톤, 마력 850ps인 선박의 수중소음압은 5~20m층에서 146~104dB이었다.

보고에 의하면 130~150dB의 방사소음은 어류를 놀라게 하며, 그 소음을 받는 직후에 어류는 수m 침하 하며, 또한 선박의 수중방사소음이 어류의 행동에 미치는 영향에 대한 기초적 자료로 활용하기 위해서는 보다 많은 선박의 수중방사소음을 측정할 필요가 있다.

권장되는 실내소음 레벨보다 실험에 의한 소음 레벨값이 높기 때문에 앞으로 톤급별, 업종별, 선질별 소음·진동 방지시설이나 방음·흡음재를 개발하고 저렴한 값으로 공급할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.